

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ, КОРРЕКЦИЯ И АДАПТИВНОСТЬ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВПУСКА АВТОМОБИЛЕЙ

А.В. Гриценко<sup>1,2</sup>, В.Д. Шепелев<sup>1</sup>, М.В. Аношина<sup>1</sup>, А.М. Лыков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия,

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия

Современное автомобилестроение на сегодня развивается по направлению значительной интеллектуализации, автоматизации и роботизации при функционировании систем. Это требует создания комплексной системы алгоритмов управления системами. Однако при изменении технического состояния отдельных электронных компонентов алгоритмы управления могут существенно меняться. Таким образом, для дальнейшего качественного функционирования объекта требуется коррекция и адаптация алгоритмов функционирования под изменяющееся техническое состояние систем автомобилей. Так, отказы датчиков массового расхода воздуха и регуляторов холостого хода составляют соответственно 14 и 12 % от числа отказов всех элементов микропроцессорной системы управления двигателем, приводящих к существенному изменению расхода топлива и токсичности отработавших газов. Устранение же отказов требует разработки режимов коррекции и адаптации под изменяющееся техническое состояние элементов электроники автомобиля, с целью чего была разработана методика экспериментального исследования, которая заключается в формировании стрессовых тестовых воздействий, состоящих в отключении  $n$ -го количества цилиндров и отдельных их рабочих циклов с последующим нагружением оставшихся в работе  $k$ -го числа цилиндров. Нагружение двигателя осуществляется мощностью механических потерь отключенных цилиндров при плавном ступенчатом формировании нагрузки на оставшиеся в работе цилиндры с фиксацией отклика на процесс загрузки путем контроля следующих параметров: положение регулятора холостого хода, напряжение на контрольном выводе датчика массового расхода воздуха, циклового расхода топлива и воздуха, коррекция топливоподачи, угла опережения зажигания. В результате экспериментальных исследований построены графики зависимостей изменения указанных контрольных параметров от степени нагружения цилиндров. Проведен анализ графиков, по которому установлены точки перегиба, соответствующие предпредельному и предельному изменению технического состояния датчиков массового расхода воздуха и регуляторов холостого хода. Контроль указанных точек перегиба при эксплуатации автомобилей в тестовом режиме позволяет осуществлять контроль технического состояния, коррекцию и адаптивность в любой промежуточный момент изменения технического состояния датчиков массового расхода воздуха и регуляторов холостого хода. Разработанная методика стрессовых тестовых воздействий позволяет исключить приобретение дорогих нагрузочных стендов. Создание и внедрение догрузателя бензинового двигателя, встроенного в электронный блок управления двигателя, позволяет получить при диагностировании экономический эффект около 3,9 тыс. руб. в год на один автомобиль.

*Ключевые слова:* регулятор холостого хода, датчик массового расхода воздуха, диагностирование, тестирование, отключение цилиндров, частота вращения, токсичность, топливная экономичность.

**Актуальность исследований.** В настоящее время диагностирование технических систем и механизмов машин приобретает приоритетное значение. Одним из основных механизмов автомобилей, дающих 14,2 % отказов двигателя, является датчик массового расхода воздуха (ДМРВ). Между тем, процесс диагностирования ДМРВ в условиях эксплуатации имеет низкую достоверность, а информация, получаемая при этом, не позволяет определять требуемые технологические воздействия по поддержанию его работоспособного состояния и, следовательно, управлять его состоянием. Данное обстоятельство объясняется несовершенством методов и средств диагностирования. Однако контроль технического состояния систем ДВС в основном сводится к факту наличия неисправности или отказа, что в итоге заканчивается коррекцией параметров работы ДВС.

## Расчет и конструирование

---

Действительное же определение эпицентра неисправности часто затруднено, поэтому в настоящее время, несмотря на наличие бортовых систем самодиагностики и большого разнообразия диагностического оборудования, встает острая проблема разработки эффективных средств и методов диагностирования ДВС. Отсутствие эффективных средств и методов диагностирования сказывается ошибками при оценке технического состояния мобильных машин, что является существенной проблемой, приводящей к снижению производительности труда, росту загрязнения окружающей среды и расходу эксплуатационных материалов [1–5].

Одним из путей решения данной проблемы является рациональная организация и управление технологическими процессами функционирования ДВС на основе полной информации об объекте воздействия. При этом всю недостающую информацию о техническом состоянии систем ДВС можно получить в результате технической диагностики, которая играет существенную роль в совершенствовании управления техническим состоянием систем ДВС и технологическими процессами технического обслуживания и ремонта, снижая затраты на их проведение и повышая эксплуатационную надежность автомобилей [6–9].

*Первая часть гипотезы* заключается в однозначной достоверной оценке технического состояния датчика массового расхода воздуха (ДМРВ) путем формирования стрессовых тестовых взаимодействий, заключающихся в отключении трех цилиндров и нагружении одного оставшегося в работе цилиндра мощностью механических потерь, полученной в режиме отключения цилиндров. Процесс формирования нагрузки происходит ступенчато путем контроля параметров: угла положения дроссельной заслонки, частоты вращения коленчатого вала (КВ) ДВС, массового расхода воздуха, расхода топлива, показания мультиметра.

*Вторая часть гипотезы* заключается в однозначной достоверной оценке регулятора холостого хода (РХХ) путем формирования стрессовых тестовых воздействий, состоящих в отключении 2 цилиндров и нагружении одного из оставшихся мощностью механических потерь, полученной в режиме отключения цилиндров. Процесс формирования нагрузки происходит ступенчато путем контроля параметров: положения РХХ, расхода топлива, расхода воздуха через РХХ, коррекции топливоподачи, угла опережения зажигания.

*Целью работы* является повышение эффективности диагностирования ДМРВ и РХХ автомобилей. *Задачи исследований:* а) провести анализ отказов элементов системы впуска, анализ существующих методов и средств диагностирования; б) теоретически обосновать диагностические параметры и режимы для оценки технического состояния ДМРВ и РХХ; в) разработать метод и средства диагностирования технического состояния ДМРВ и РХХ; г) провести эксплуатационную и производственную проверку метода и средства диагностирования ДМРВ и РХХ.

*Объектом исследований* является технологический процесс ДМРВ и РХХ автомобилей с микропроцессорной системой управления двигателем. *Предметом исследования* служит взаимосвязь технического состояния ДМРВ с параметрами массового расхода воздуха, топлива, при формировании тестового нагружения путем полного и частичного отключения цилиндров, проверка быстроты корректирующих действий РХХ и степени адаптивности под стресс-тест.

**Теоретические исследования.** Исследования выявили серьезные недостатки при получении и анализе диагностической информации по ДМРВ при использовании различных диагностических приборов и комплексов на станциях сервиса. Основными из них являются: а) низкая приспособленность к диагностированию; б) низкая достоверность диагностирования; в) невозможность диагностирования на движущемся автомобиле; г) высокая трудоемкость процесса диагностирования; д) значительная стоимость процесса диагностирования. Поэтому приоритетным направлением на сегодня является разработка и внедрение средства и технологии диагностирования ДМРВ. Комплексный подход к вопросу проектирования и разработки приборного средства для диагностирования ДМРВ позволил создать мобильное высокоэффективное диагностическое средство. Несвершенство методов и средств диагностирования влечет за собой неисправность и даже полный отказ механизмов и систем, требующих значительных ресурсов на их восстановление. Сравнительный анализ конкурентных моделей прибора показал необходимость создания прибора, отвечающего более высоким требованиям эргономичности и точности [10–14].

Система впуска представлена рядом последовательных и параллельных элементов. Некоторые из них практически не изменяют свои свойства и выходные параметры в процессе эксплуатации, тогда как другие изменяют свое техническое состояние непрерывно. Так, например, воз-

душный фильтр – один из самых динамично изменяющихся элементов, который по мере загрязнения изменяет параметры всей системы. Для определения его технического состояния предлагается тестовое воздействие, которое заключается в выведении ДВС на режим работы на одном цилиндре с полностью открытой дроссельной заслонкой при вариантах наличия воздушного фильтра или без него. Это можно представить условием [15]:

$$R = \frac{n_{pr.f.}}{n_{miss.f.}}, \quad (1)$$

где  $R$  – степень загрязнения воздушного фильтра;  $n_{pr.f.}$  – частота вращения коленчатого вала ДВС при наличии фильтра,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_{miss.f.}$  – частота вращения коленчатого вала ДВС при отсутствии фильтра,  $\text{мин}^{-1}$ .

Чем больше степень засорения воздушного фильтра, тем меньше частота вращения КВ ДВС с фильтром по отношению к частоте без воздушного фильтра. Этот признак предполагается использовать для определения технического состояния воздушного фильтра [15–17]. Так, руководствуясь и подставляя значения коэффициентов сопротивления, получили зависимость изменения величины подаваемого воздуха от сопротивления воздушного фильтра, показывающую высокую чувствительность изменения подачи воздуха к росту сопротивления. Так, с ростом сопротивления от 0,05 до 52,6 подача воздуха изменилась с 620 до 205 кг/ч. При таком изменении сопротивления фильтра возникают серьезные провалы в работе ДВС и снижение мощности. Дальнейший рост сопротивления фильтра с 52,6 до 760 вызывает снижение количества воздуха с 205 до 57 кг/ч, что вызывает остановку ДВС и невозможность его работы.

Одним из самых ненадежных элементов системы впуска является ДМРВ. Его отказ проявляется в неверном представлении данных по количеству воздуха микропроцессорной системой управления. Довольно часто возникают неисправности, которые дают значительное отклонение воздухоподачи. При использовании эталонного ДМРВ, который устанавливается последовательно штатному, можно определить потери напора на входе в цилиндр и количество проходящего воздуха. Для этого составим уравнение Бернулли для количества  $Q$  проходящего потока воздуха во впускном тракте [17]:

$$Q = \sqrt{\frac{2(H_{vac.} - H)gS^2}{(1 + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} + \lambda_4 \frac{l_4}{d_4} + \lambda_5 \frac{l_5}{d_5} + \lambda_6 \frac{l_6}{d_6} + \lambda_7 \frac{l_7}{d_7})}}, \quad (2)$$

где  $H_{vac.}$  – вакуумметрический столб разрежения, создаваемый возвратно-поступательным движением поршня, м;  $H$  – высота подъема воздуха во впускном тракте, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $S$  – наименьшая площадь сечения во впускном тракте,  $\text{м}^2$ ;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$  – коэффициенты Дарси для выбранных участков, соответственно, циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов;  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$  – диаметры для выбранных участков, указанных выше, м;  $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$  – длина выбранных участков, указанных выше, м.

Введение во впускной тракт эталонного ДМРВ отразится некоторым увеличением сопротивления. Рассчитано, что при максимально возможном разрежении во впускном коллекторе добавление эталонного ДМРВ отразится в снижении подачи воздуха на 0,16 %, что крайне незначительно и находится в пределах величины погрешности ДМРВ [14, 18, 19]. Таким образом, установлено, что потери напора на входе в цилиндр при установке эталонного ДМРВ незначительны и вызывают снижение количества подаваемого воздуха в пределах  $Q = 621 \dots 620$  кг/ч. То есть при максимально возможном разрежении во впускном коллекторе добавление эталонного ДМРВ отразится в снижении подачи воздуха на 0,16 %, что крайне незначительно и находится в пределах величины погрешности ДМРВ. При последовательной установке диагностируемого и эталонного ДМРВ потери напора воздуха на них практически равны нулю и применение заявленных диагностических средств не вносит никакой ошибки измерения.

Довольно часто выходит из строя РХХ. Для выявления его неисправности в процессе запуска ДВС наблюдается степень выдвижения штока (количество шагов) и далее проверяется быстрота корректирующих действий РХХ и степень адаптивности под стресс тест [18, 20]. Для проверки быстроты корректирующих действий РХХ предлагается выключить из работы два цилиндра

## Расчет и конструирование

одновременно и проверить время реакции до момента добавления числа шагов. Можно записать условие для времени реакции  $t_{res}$ . [18]:

$$t_{res.} = t_{dis.} + t_{adj.} \quad (3)$$

где  $t_{dis.}$  – время отключения цилиндров, с;  $t_{adj.}$  – время коррекции числа шагов РХХ, с.

При этом частота вращения  $n_{wor.}$  коленчатого вала ДВС на двух не отключенных из работы цилиндров должна быть кратной частоте холостого хода или больше его на 10 % [18]:

$$n_{wor.} = n_{id.sp.} + \Delta n_{10\%}, \quad (4)$$

где  $n_{id.sp.}$  – частота вращения холостого хода ДВС,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\Delta n_{10\%}$  – максимальная прибавка частоты вращения коленчатого вала ДВС,  $\text{мин}^{-1}$ .

**Методика.** Для решения поставленных задач была разработана общая методика исследований по снижению расхода топлива бензиновых ДВС за счет полного и частичного отключения цилиндров [21]. При проведении эксперимента отключались 2 цилиндра, так как при отключении 3 цилиндров поддержание стабильной работы двигателя на холостом ходу не представлялось возможным [21, 22]. В рабочем положении оставалось два цилиндра, на одном из которых создавалось искусственное нагружение с помощью алгоритма разработанной программы и реализации на запатентованном приборе – отключателе электромагнитных форсунок. При испытании РХХ число оборотов КВ выдерживалось на одном уровне и составляло  $880 \text{ мин}^{-1}$ . Объектом испытания является двигатель ЗМЗ-406.10 с электронной системой управления. Для проверки достоверности полученных данных нам потребовалось узнать техническое состояние испытуемого двигателя, параметры износа цилиндров которого измерялись пневмотестером К-69М.

**Экспериментальные исследования.** Экспериментальные исследования проводились на двигателе ЗМЗ 406.10, в работе оставался только один цилиндр из четырех. Например, для 4-цилиндрового двигателя первый цилиндр оставляют в работе, а второй, третий и четвертый полностью отключают из работы. При этих условиях меняют положение дроссельной заслонки с шагом в 5 %, измеряя следующие параметры: частоту вращения КВ ДВС ( $\text{мин}^{-1}$ ); массовый расход воздуха ( $\text{кг/ч}$ ); расход топлива ( $\text{л/ч}$ ); показания мультиметра (В) (см. таблицу). Для создания необходимых режимов нагружения ДВС использовался разработанный авторами способ и прибор – отключатель электромагнитных форсунок, позволяющий создавать любую нагрузку на диагностируемый цилиндр [21]. Проверка достоверности полученных результатов проводилась путем сравнения экспериментальных данных диагностирования с аналогичными на других ДВС.

Параметры экспериментальных исследований

Положение дроссельной заслонки (%)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	...	90	95	100
Частота вращения КВ ДВС ( $\text{мин}^{-1}$ )	840	1400	2080	2520	3040	3360	3680	3840	3920	3960	4000	...	4080	4120	4120
Массовый расх. воздуха ( $\text{кг/ч}$ )	43,9	72,5	113,2	147,1	180,2	215,9	239,4	252,2	274,6	258,6	299	...	314,9	313	292,2
Расход топлива ( $\text{л/ч}$ )	4	6,5	9,4	13	16,2	19,5	23,9	25,8	28	29,6	30,4	...	31,2	31,6	32
Показания вольтметра (В)	2,83	3,12	3,39	3,61	3,79	3,95	4,04	4,09	4,16	4,2	4,27	...	4,18	4,18	4,24

При проведении исследований было обнаружено, что при включении вентилятора радиатора охлаждения изменялись экспериментальные данные. В дальнейшем при включении вентилятора радиатора охлаждения данные эксперимента не фиксировались. По экспериментальным данным и известным параметрам технического состояния ДВС построены графические зависимости, по которым отчетливо можно судить о техническом состоянии ЦПГ.

На рис. 1 представлена зависимость изменения частоты вращения КВ ДВС от степени частичной нагрузки цилиндра.

Анализ показывает, что для 2-го работающего цилиндра график частоты вращения КВ имеет линейный вид и при нагружении цилиндра обороты не превышают  $4100 \text{ мин}^{-1}$ . Для 4-го работающего цилиндра частота вращения КВ при нагружении цилиндра не превышает  $3700 \text{ мин}^{-1}$ , а сам график имеет линейный вид. Для 3-го цилиндра при достижении нагрузки на цилиндр  $1/6$  доли наблюдается резкий провал частоты вращения КВ. Для 1-го цилиндра при достижении нагрузки цилиндра в  $1/5$  доли наблюдается резкое снижение частоты вращения КВ. Для 1-го и 3-го цилиндров, как видно на графике, невозможно нагружение цилиндра свыше  $1/4$  доли, так как при этом невозможна работа ДВС. Наибольшее значение  $\Delta$  наблюдается при нагружении цилиндров на  $1/4$  долю и составляет  $730 \text{ мин}^{-1}$ .

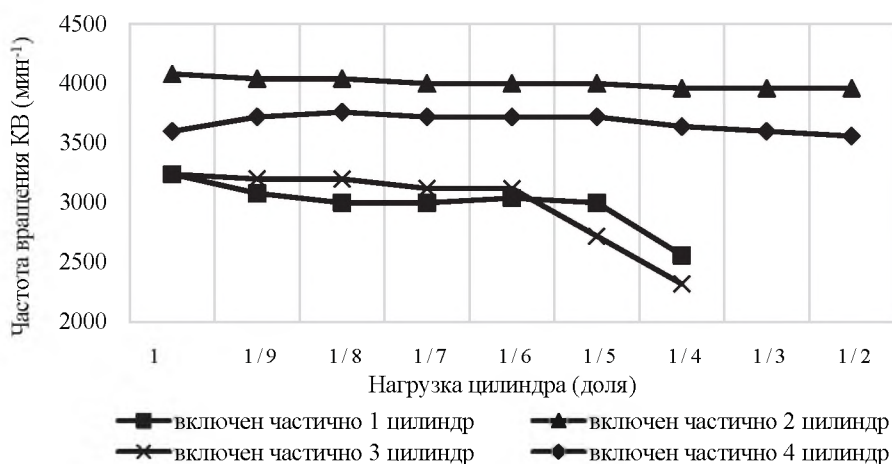


Рис. 1. График зависимости изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС ( $\text{мин}^{-1}$ ) от степени частичной нагрузки цилиндра (доли), включенного поочередно

Учитывая, что на испытуемом двигателе состояние износа 4-го цилиндра составляет  $14\%$ , 2-го –  $22\%$ , 1-го –  $32\%$ , 3-го –  $29\%$ , полученные экспериментальные зависимости соответствуют действительности.

На рис. 2 представлена зависимость изменения массового расхода воздуха ( $\times 10 \text{ кг/ч}$ ) от степени частичной нагрузки цилиндра. Анализ показывает, что для 2-го работающего цилиндра график массового расхода воздуха имеет линейный вид и при нагружении цилиндра расход воздуха не превышает  $28 \text{ кг/ч}$ . Для 4-го работающего цилиндра массовый расход воздуха при нагружении цилиндра не превышает  $26 \text{ кг/ч}$  и сам график имеет линейный вид. Для 3-го цилиндра при достижении нагрузки на цилиндр в  $1/7$  долю наблюдается резкое снижение расхода воздуха. Для 1-го цилиндра снижение расхода воздуха от  $18,95$  до  $22,61 \text{ кг/ч}$  имеет линейный вид. Наибольшее значение  $\Delta$  наблюдается для 2-го и 3-го цилиндров при нагружении цилиндров в  $1/4$  долю, составляя значение в  $10,45 \text{ кг/ч}$ .

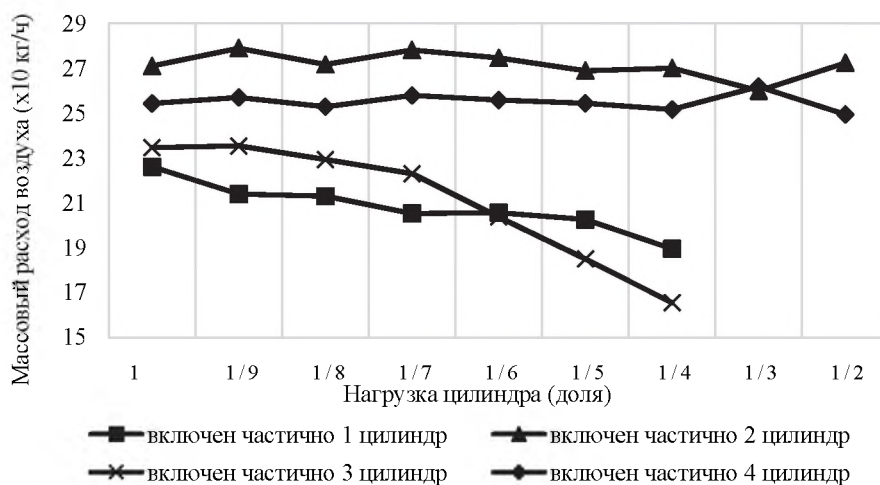


Рис. 2. График зависимости изменения массового расхода воздуха ( $\text{кг/ч}$ ) от степени частичной нагрузки цилиндра (доли), включенного поочередно

## Расчет и конструирование

На рис. 3 представлена зависимость изменения расхода топлива (л/ч) от степени частичной нагрузки цилиндра. Анализ показывает, что для 2-го работающего цилиндра график расхода топлива имеет линейный вид и при нагружении цилиндра не превышает 30,5 л/ч. Для 4-го работающего цилиндра расход топлива при нагружении цилиндра не превышает 27,2 л/ч и сам график имеет линейный вид. Для 3-го цилиндра при достижении нагрузки на цилиндр 1/6 доли наблюдается резкий провал расхода топлива. Для 1-го цилиндра при достижении нагрузки цилиндра в 1/5 долю наблюдается резкое снижение расхода топлива. Для 1-го и 3-го цилиндров, как видно на графике, невозможно нагружение цилиндра свыше 1/4 доли, так как при этом невозможна работа ДВС. Наибольшее значение  $\Delta$  наблюдается при нагружении цилиндров в 1/4 долю и составляет значение 13,8 л/ч.

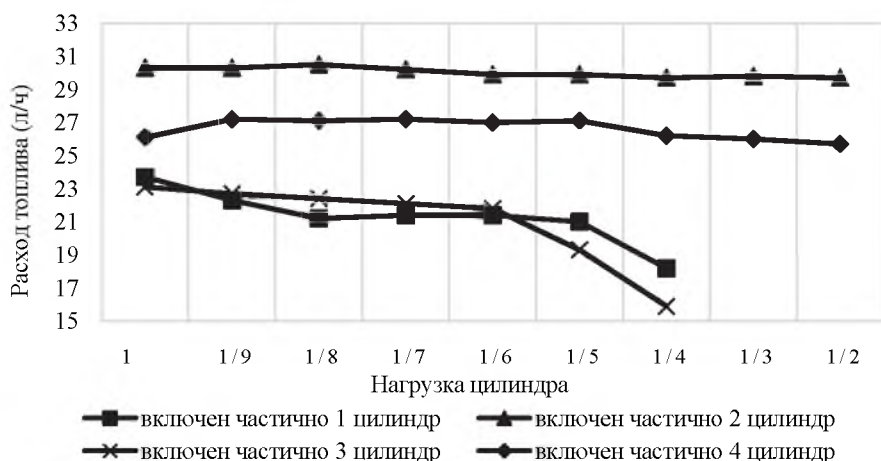


Рис. 3. График зависимости изменения расхода топлива (л/ч) от частичной нагрузки цилиндра (доли), включенного поочередно

На рис. 4 представлен график зависимости соответствия положения РХХ (количество шагов) от степени нагруженности цилиндра (доли), включенного поочередно. Положение РХХ при работе 2-го и 4-го цилиндров ниже, чем при работе 1-го и 3-го. Это объясняется лучшим техническим состоянием 2-го и 4-го цилиндров по сравнению с другими. Наибольшее значение  $\Delta$  достигается в момент нагружения цилиндров 1/4 долей и между 2-м и 3-м цилиндрами составляет 8 шагов. Точкой перегиба графиков также является место нагружения 1/4 долей, до которого значение  $\Delta$  составляет 5 шагов с постоянной величиной. Положение РХХ, равное 149 кол. шагов, достигается на 4-м цилиндре при нагружении 1/2 долей, что характеризуется его техническим состоянием.

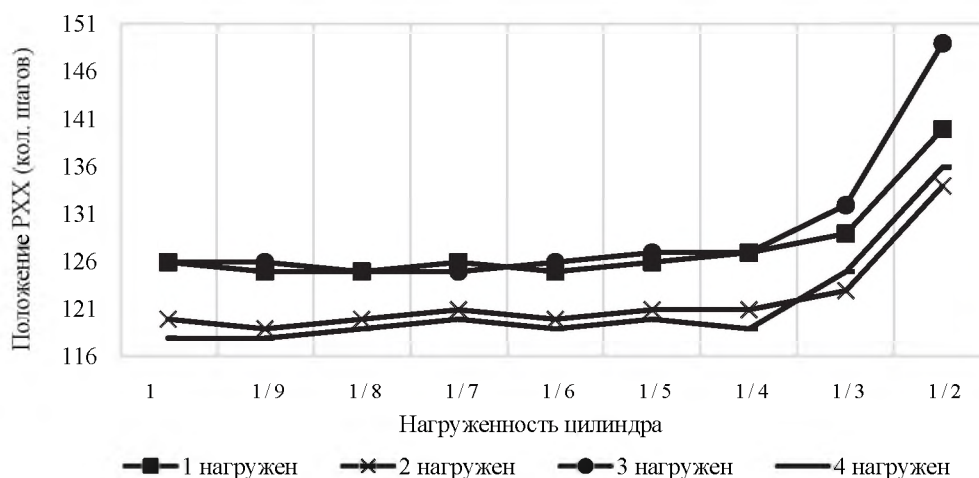


Рис. 4. График зависимости соответствия положения РХХ степени нагруженности цилиндра (доли), включенного поочередно

На рис. 5 представлен график зависимости изменения расхода воздуха через РХХ (кг/ч) от степени нагруженности цилиндров при их частичном нагружении циклами работы. Для обеспечения заданной работы ДВС под нагрузками вследствие работы РХХ увеличивается подача воздуха в камеру сгорания. Для обеспечения заданной нагрузки 1-му и 3-му цилиндрам требуется большее количество воздуха по сравнению со 2-м и 4-м, что также объясняется их техническим состоянием. Точкой перегиба является момент нагружения в 1/4 долю. Самое большое значение  $\Delta$ , равное 4 кг/ч, достигается в момент нагружения цилиндров в 1/5 долю. Расход воздуха в 33 кг/ч достигается в момент нагружения в 1/2 долю 1-м и 3-м цилиндрами вследствие их худшего технического состояния. При этом на 2-м и 4-м цилиндрах расход воздуха равен 31 и 30 кг/ч соответственно.



Рис. 5. График зависимости изменения расхода воздуха через РХХ (кг/ч) от степени нагруженности цилиндров (доли), включенных поочередно

На рис. 6 представлен график зависимости изменения расхода топлива на холостом ходу от степени нагруженности цилиндров при их частичном нагружении циклами работы. В связи с более увеличенной подачей воздуха на 1-й и 3-й цилиндры электронный блок управления ДВС регулирует топливоздушную смесь повышением подачи топлива, что приводит к большему расходу топлива на более изношенных цилиндрах. В момент нагружения на 1/3 долю достигается значение  $\Delta$  в 0,4 л/ч между 1-м и 4-м цилиндрами. Расход топлива в 2,8 л/ч достигается в момент нагружения на 1/2 долю 1-м цилиндром и при полностью нагруженном 3-м цилиндром, что характеризуется их техническим состоянием.

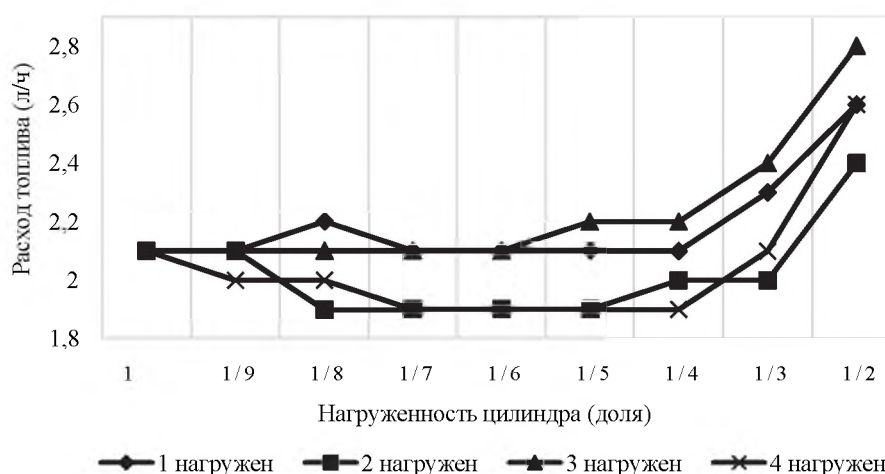


Рис. 6. График зависимости изменения расхода топлива (л/ч) на холостом ходу от степени нагруженности цилиндров (доли) при их частичном нагружении циклами работы



**Выводы.** Анализ полученных зависимостей позволяет судить о техническом состоянии ЦПГ по косвенным параметрам, что допускает проводить диагностику без больших трудозатрат и без прямого доступа к двигателю автомобиля, а именно – через стандартный диагностический разъем. При эксплуатации автомобилей в тестовом режиме контроль точек перегиба, соответствующих предпределному и предельному изменению технического состояния ДМРВ и РХХ, позволяет отслеживать уровень изменения технического состояния, осуществлять коррекцию и адаптивность датчиков в любой промежуточный момент. Разработана методика стрессовых тестовых воздействий, позволяющая исключить приобретение дорогих нагрузочных стендов. Создание и внедрение догрузателя бензинового двигателя, встроенного в электронный блок управления двигателем, позволяет получить при диагностировании экономический эффект около 3,9 тыс. руб. в год на один автомобиль.

### Литература

1. *Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles / M.I. Khan, T. Yasmeen, M.I. Khan, et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 66. – P. 702–741. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.041*
2. Бердов, Е.И. Отключение части цилиндров двигателя как способ улучшения топливно-экономических показателей тракторно-транспортного агрегата / Е.И. Бердов, С.Ю. Федосеев // АПК России. – 2015. – Т. 72. – № 2. – С. 20–24.
3. *Assessing the impacts of ethanol and isobutanol on gaseous and particulate emissions from flexible fuel vehicles / G. Karavalakis, D. Short, R.L. Russell, et al. // Environmental Science and Technology. – 2014. – Vol. 48 (23). – P. 14016–14024. DOI: 10.1021/es5034316*
4. *Gurgenci, H. Investigating the use of methane as diesel fuel in off-road haul road truck operations / H. Gurgenci, S.M. Aminossadati // Journal of Energy Resources Technology. – 2009. – Vol. 131 (3). – Paper 032202. DOI: 10.1115/1.3185350*
5. *Stein R.A. An overview of the effects of ethanol-gasoline blends on SI engine performance, fuel efficiency, and emissions / R.A. Stein, J.E. Anderson, T.J. Wallington // SAE International Journal of Engines. – 2013. – Vol. 6 (1). – P. 470–487. DOI: 10.4271/2013-01-1635*
6. *Gonçalves, M. Emissions variation in urban areas resulting from the introduction of natural gas vehicles: Application to Barcelona and Madrid greater areas (Spain) / M. Gonçalves, P. Jiménez-Guerrero, J.M. Baldasano // Science of the Total Environment. – 2009. – Vol. 407 (10). – P. 3269–3281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.039*
7. *Milkins, E.E. Gaseous fuel injection system for the operation of heavy duty engines on natural gas / E.E. Milkins, R.G. Allen, V.D. Edsell // Proceedings – Society of Automotive Engineers. – 1990. – P. 203–209.*
8. *Pasechnik, D.V. Gas fuel supply system for injection engines ZMZ / D.V. Pasechnik // Journal of Automotive Industry. – 2004. – Vol. 5. – P. 12–15.*
9. Улучшение эксплуатационных характеристик двигателя с применением нанотехнологий / С.М. Гайдар, В.Н. Свечников, А.Ю. Усманов, М.И. Иванов // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – С. 4–8.
10. *Fault detection system for the air path of common rail diesel engines with low pressure EGR / C. Eck, U. Konigorski, F. Cianflone, et al. // SAE Technical Papers. – 2011. – Paper 2011-01-0701. DOI: 10.4271/2011-01-0701*
11. *Kimmich, F. Model based fault detection for the injection, combustion and engine-transmission / F. Kimmich, R. Isermann // IFAC Proceedings. – 2002. – Vol. 15 (1). – P. 203–208.*
12. *Hajari, S.C. Diagnosis and repair of excessively emitting vehicles / S.C. Hajari // Journal of the Air and Waste Management Association. – 1996. – Vol. 46 (10). – P. 940–952. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467529*
13. *Gumus, M. Application of phase change materials to pre-heating of evaporator and pressure regulator of a gaseous sequential injection system / M. Gumus, A. Ugurlu // Applied Energy. – 2011. – vol. 88 (12). – P. 4803–4810. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.053*
14. Гребенников, А.С. Диагностирование автотракторных двигателей по внутрицикловым изменениям угловой скорости коленчатого вала: дис. ... д-ра техн. наук / А.С. Гребенников. – Саратов, 2002. – 292 с.



15. Иванов, Р.В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.В. Иванов. – Волгоград, 2010. – 40 с.
16. Лешаков, И.А. Математическая модель расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов / И.А. Лешаков, И.Н. Кравченко, М.Н. Ерофеев // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 76–80.
17. Исаенко, П.В. К расчету гидравлического сопротивления очистителя-нейтрализатора для систем выпуска отработавших газов машин автотранспортного комплекса / П.В. Исаенко, В.Д. Исаенко // Вестник Томского гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2006. – № 1. – С. 95–106.
18. Гребенников, А.С. Диагностирование автотракторных двигателей по внутрицикловым изменениям угловой скорости коленчатого вала: дис. ... д-ра техн. наук / А.С. Гребенников. – Саратов, 2002. – 292 с.
19. Химченко, А.В. Снижение неравномерности крутящего момента двигателя с отключением цилиндров на режимах частичного нагружения / А.В. Химченко, Д.Г. Мишин, А.В. Бузов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 1. – С. 46–51.
20. Исаенко, В.Д. Основы теории надежности и диагностика автомобилей: учеб. пособие / В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко, П.В. Исаенко. – Томск: Томский гос. архитектур.-строит. ун-т, 2007. – 238 с.
21. Пат. 2474805 Российская Федерация, G01M 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневого двигателя внутреннего сгорания / А.В. Гриценко, С.С. Куков, К.А. Цыганов, А.В. Горбунов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия». – № 2011139288; заявл. 26.09.11; опубл. 27.02.13, Бюл. № 6.
22. Регулирование дизеля методом отключения-включения цилиндров или циклов / Н.Н. Патрахальцев, С.В. Страшинов, Б.А. Корнев, И.С. Мельник // Двигателестроение. – 2011. – № 3. – С. 7–12.

**Гриценко Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, gritcensoav@susu.ru.

**Шепелев Владимир Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, shepelevvd@susu.ru.

**Аношина Маргарита Витальевна**, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, margo.anoshina.96@mail.ru.

**Лыков Алексей Михайлович**, магистрант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, aleksey96\_10@mail.ru.

Поступила в редакцию 26 ноября 2018 г.

DOI: 10.14529/engin190102

## INTELLIGENT CONTROL, CORRECTION, AND ADAPTABILITY OF OUTPUT PARAMETERS IN VEHICLE INTAKE SYSTEMS

**A.V. Gritsenko**<sup>1,2</sup>, gritcensoav@susu.ru,  
**V.D. Shepelev**<sup>1</sup>, shepelevvd@susu.ru,  
**M.V. Anoshina**<sup>1</sup>, margo.anoshina.96@mail.ru,  
**A.M. Lykov**<sup>1</sup>, aleksey96\_10@mail.ru

<sup>1</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

<sup>2</sup>South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

Presently, modern motor industry is developing in the lines of significant intellectualization, automation, and robotization of system functioning. This calls for the development of a comprehensive system of system management algorithms. However, when the technical condition

of individual electronic components changes, management algorithms can significantly vary. Thus, high-quality operation of an object requires correction and adaptation of the operation algorithms to the changing technical condition of vehicle systems. Thus, failures of mass airflow sensors and idle air control valves amount to 14 and 12%, respectively, of all failures in the microprocessor-based engine control system. These failures lead to a serious change in fuel consumption and exhaust toxicity. In order to eliminate these failures, we developed an experimental research procedure to elaborate the modes of correction and adaptation to the changing technical condition of these electronic elements of cars. This procedure implies the formation of test stresses which consist in disconnecting  $n$ -number of cylinders and their individual operating cycles and subsequent loading of  $k$ -number of operating cylinders. The engine is loaded with the friction horsepower of the disconnected cylinders. The operating cylinders are loaded smoothly and the response to the loading process is recorded by monitoring the following parameters: the position of the idle air control valve, voltage at the test terminal of the mass airflow sensor, cyclic fuel consumption, cyclic air consumption, fuel correction, ignition advance angle. Experimental studies allowed us to plot diagrams of dependencies of the control parameters on the cylinder load. We analyzed the diagrams and determined the inflection points that correspond to the prelimit and limit change in the technical condition of the mass airflow sensors and idle air control valves. Control of these inflection points during vehicle operation in the test mode makes it possible to monitor the technical condition, correct, and adapt at every moment when the technical condition of the mass airflow sensors and idle speed controllers changes. The developed method of test stresses makes it possible to avoid purchasing of expensive load banks. Development and implementation of a gasoline engine loader integrated into the electronic control unit of an engine provide an economic effect of about 3.9 thousand rubles per year for each diagnosed car.

*Keywords: idle air control valve, mass airflow sensor, diagnosis, testing, cylinder cutout, speed, toxicity, fuel efficiency.*

### References

1. Khan M.I., Yasmeen T., Khan M.I., Farooq M., Wakeel M. Research Progress in the Development of Natural Gas as Fuel for Road Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 66, pp. 702–741. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08
2. Berdov E.I., Fedoseyev S.Yu. [Cutout of Some Engine Cylinders as a Way to Improve the Fuel and Economic Indicators of the Tractor-Transport Unit]. *AIC of Russia*, 2015, vol. 72, no. 2, pp. 20–24. (in Russ.)
3. Karavalakis G., Short D., Russell R.L., et al. Assessing the Impacts of Ethanol and Isobutanol on Gaseous and Particulate Emissions from Flexible Fuel Vehicles. *Environmental Science and Technology*, 2014, vol. 48 (23), pp. 14016–14024. DOI: 10.1021/es5034316
4. Gurgenci H., Aminossadati S.M. Investigating the Use of Methane as Diesel Fuel in Off-Road Haul Road Truck Operations. *Journal of Energy Resources Technology*, 2009, vol. 131 (3), Paper 032202. DOI: 10.1115/1.3185350
5. Stein R.A., Anderson J.E., Wallington T.J. An Overview of the Effects of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine Performance, Fuel Efficiency, and Emissions. *SAE International Journal of Engines*, 2013, vol. 6 (1), pp. 470–487. DOI: 10.4271/2013-01-1635
6. Gonçalves M, Jiménez-Guerrero P., Baldasano J.M. Emissions Variation in Urban Areas Resulting from the Introduction of Natural Gas Vehicles: Application to Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain). *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407 (10), pp. 3269–3281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.039
7. Milkins E.E., Allen R.G., Edsell V.D. Gaseous Fuel Injection System for the Operation of Heavy Duty Engines on Natural Gas. *Proceedings – Society of Automotive Engineers*, 1990, pp. 203–209.
8. Pasechnik D.V. Gas Fuel Supply System for Injection Engines ZMZ. *Journal of Automotive Industry*, 2004, vol. 5, pp. 12–15.
9. Gaïdar S.M., Svechnikov V.N., Usmanov A.Yu., Ivanov M.I. [Improving the Engine Performance Characteristics Based on the Use of Nanotechnologies]. *Trudy GOSNITI* [Proceedings of the GISNITI], 2013, vol. 111, pp. 4–8. (in Russ.)
10. Eck C., Konigorski U., Cianflone F. et al. Fault Detection System for the Air Path of Common Rail Diesel Engines with Low Pressure EGR. *SAE Technical Papers*, 2011, Paper 2011-01-0701. DOI: 10.4271/2011-01-0701

11. Kimmich F., Isermann R. Model Based Fault Detection for the Injection, Combustion and Engine-Transmission. *IFAC Proceedings*, 2002, vol. 15 (1), pp. 203–208.
12. Hajari S.C. Diagnosis and Repair of Excessively Emitting Vehicles. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 1996, vol. 46 (10), pp. 940–952. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467529
13. Gumus M., Ugurlu A. Application of Phase Change Materials to Pre-Heating of Evaporator and Pressure Regulator of a Gaseous Sequential Injection System. *Applied Energy*, 2011, vol. 88 (12), pp. 4803–4810. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.06.053
14. Grebennikov A.S. *Diagnostirovaniye avtotraktornykh dvigateley po vnutritsiklovym izmeneniyam uglovoy skorosti kolenchatogo vala*. Dokt. Diss. [Diagnosis of Car-and-Tractor Engines by the Intra-Cycle Changes in the Crankshaft Angular Speed. Dokt. Diss.]. Saratov, 2002. 292 p. (in Russ.)
15. Ivanov R.V. *Diagnostirovaniye DVS po parametru moshchnosti mekhanicheskikh poter*. Dokt. Diss. [ICE Diagnosis by the Parameter of the Mechanical Loss Power. Dokt. Diss.]. Volgograd, 2010, 40 p. (in Russ.)
16. Leshakov I.A., Kravchenko I.N., Erofeev M.N. [Mathematical Model for Calculating the Basic Parameters of Catalyst Converters]. *Modern high technologies*, 2013, no. 5, pp. 76–80. (in Russ.)
17. Isaenko P.V., Isaenko V.D. To the Calculation of the Hydraulic Resistance of the Neutralizer-Purifier for Exhaust Systems of Vehicles of the Motor Transport Complex. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Construction*. Tomsk, 2006, no. 1, pp. 95–106. (in Russ.)
18. Grebennikov A.S. *Diagnostirovaniye avtotraktornykh dvigateley po vnutritsiklovym izmeneniyam uglovoy skorosti kolenchatogo vala*. Dokt. Diss. [Diagnosis of Car-and-Tractor Engines by the Intra-Cycle Changes in the Crankshaft Angular Speed. Dokt. Diss.]. Saratov, 2002. 292 p.
19. Khimchenko A.V., Mishin D.G., Buzov A.V. [Reduction of the Unevenness of the Engine's Torque with the Cylinder Cutout in Partial Loading Modes]. *Internal Combustion Engines*, 2013, no. 1, pp. 46–51. (in Russ.)
20. Isaenko V.D., Isaenko A.V., Isaenko P.V. *Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika avtomobiley* [Fundamentals of the Reliability Theory and Car Diagnostics]. Federal Agency for Education, State Educational Institution of Professional Education Tomsk State University of Architecture and Construction, Tomsk, 2007. 238 p.
21. Gritsenko A.V. et al. *Sposob diagnostirovaniya vypusknogo trakta porshneвого dvigatelya vnutrennego sgoraniya* [A Method for Diagnosing the Exhaust Path of the Reciprocating Internal Combustion Engine]. Patent RF, no. 2474805, published on 27.02.13, bul. no. 6.
22. Patrakhaltsev N.N., Strashnov S.V., Kornev B.A., Melnik I.S. [Diesel Control by the Method of Switching On-Off of Cylinders or Cycles]. *Engine Building*, 2011, no. 3, pp. 7–12.

Received 26 November 2018

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Интеллектуальный контроль, коррекция и адаптивность выходных параметров системы впуска автомобилей / А.В. Гриценко, В.Д. Шепелев, М.В. Аношина, А.М. Лыков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 15–25. DOI: 10.14529/engin190102

#### FOR CITATION

Gritsenko A.V., Shepelev V.D., Anoshina M.V., Lykov A.M. Intelligent Control, Correction, and Adaptability of Output Parameters in Vehicle Intake Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 15–25. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin190102

---